

令和2年度トンネル機械技術委員会 技術講演会 質疑・応答(講演会終了後の問合わせ)

NO	技術講演名	質問	回答
1	(厚生労働省) ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドラインの概要、および換気技術の提案	<p>トンネル現場より粉じんガイドライン改正の内容の問い合わせがありました。</p> <p>遊離ケイ酸の含有率の測定についてです。</p> <p>これを現場で行って防護マスクの防護係数を定めるとのことですが、この測定については初めてのことで、その測定業者、測定方法など教えてください、という内容です。</p> <p>全国のトンネル現場でこれを行わなければならないということになるとかなり大変と思います。</p> <p>現在、私の方でも業者など調査をしておりますが、情報共有の意味でも、質問とさせていただきます。</p>	<p><u>1.遊離けい酸含有率の測定方法</u></p> <p>● エックス線回折分析方法（試料にエックス線をあて、入射角に応じた反射の強度によって物質を特定する方法）等</p> <p>● 事前のボーリング調査等による岩石の種類に応じ、標準的な遊離けい酸含有率と照らし合わせて決定</p> <p>標準的な遊離けい酸含有率は、文献等に基づき岩石の種類別（珪岩を除く。）に定めた。</p> <p>第1グループ（火成岩（酸性岩に限る。）、堆積岩及び変成岩（珪岩を除く。））：20%</p> <p>第2グループ（火成岩（中性岩に限る。））：20%</p> <p>第3グループ（火成岩（塩基性岩及び超塩基性岩に限る。））：設定せず 20%を使用することは差し支えない</p> <p><u>2.サンプリング対象</u></p> <p>以上からほとんどの場合は現場のサンプリング/分析は不要となりますが、「珪岩」がボーリング調査で存在する場合は現場でのサンプリングが必要となります。</p> <p>「珪岩」は砂岩等が熱による変性を受け石英質が結晶化成長したもので、遊離けい酸含有率が高くなっています。</p> <p><u>3.サンプリング/分析</u></p> <p>サンプリング/分析は測定の精度を確保するため、第一種作業環境測定士、作業環境測定機関等、十分な知識及び経験を有したものが実施されること。 としていますので、専門測定会社に依頼することになります。</p> <p><u>4.測定会社</u></p> <p>日本作業環境測定協会に問い合わせ、現場に近い測定会社を照会していただく方法があります。</p> <p>全国に100社以上の粉じん関係の測定/分析専門会社があり、依頼しサンプル取得及び分析の結果を得られます。</p> <p><u>5.遊離けい酸含有率の扱い</u></p> <p>電動ファン付き呼吸用保護具のろ紙の選定に使用します。 →防護係数の算出 (粉じん測定結果×遊離けい酸含有率) ÷ (100×0.025)</p> <p>防護係数だけで決まるわけではなく、マスクの形式・マスクの漏れ率・切羽粉じん測定値 等で過フィルタの性能が決定します。</p> <p>いずれにせよ現状普及している粒子捕集効率95%は不可となり、99%最悪は99.97%を選択することになります。</p>
2	(厚生労働省) ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドラインの概要、および換気技術の提案	<p>■リニア山岳トンネルへの「吸引捕集方式」適用に付いて■</p> <p>厚労省により、令和3年4月1日から施工される改正ガイドラインに於きまして、「より効果的な換気方法である吸引捕集方式の導入を図ること」となっておりますが、リニア山岳トンネルでは適用に当たり以下①～③の問題点があります。これらの問題点について見解をいただきたくお願いします。</p> <p>【①換気設備とクラッシャーとの位置関係】</p> <p>・クラッシャーから発生する粉塵が切羽に向かい流れるため、切羽の作業環境が悪化する。</p> <p>・クラッシャーからの発生粉塵を坑口側に逃がさないため、設置場所の風量(風速)を上げるべく、坑外からの送気風管吐出口をクラッシャーより坑口側に配置する必要があり、切羽から風管吐出口の距離が離れてしまい、切羽の暑熱対策の観点から切羽作業環境が悪化する。</p> <p>切羽～クラッシャー : 50m～80m</p> <p>クラッシャー機長 : 20m</p> <p>切羽～送気風管吐出口 : 70m～100m</p> <p>※そもそもクラッシャーへのズリ投入断面では、坑外からの送気風管と吸引捕集伸縮風管の2本を通すこと自体が困難である。</p>	<p>吸引捕集方式の質問/問題提起を頂戴しましたので、以下に説明および対応方法について説明します。</p> <p>(1) クラッシャー粉じんの課題</p> <p>・クラッシャー粉じんの挙動についてはご指摘の通りと思います。</p> <p>・発破後のずり出しでは長距離コンベア方式の採用が増加しており、クラッシャー周りでの粉じん発生はかねてより指摘されている通り、吸引捕集方式の場合、ズリ出し中は切羽方向に粉じんが流れ、切羽環境を汚染します。</p> <p>クラッシャーでの発塵場所は、①ホッパー及びフィーダーへのずり投入 ②破碎/一時ベルトコンベア ③エクステンションコンベアの乗り継ぎ ④長距離コンベアへの乗り継ぎ 及び積み込み機の走行時巻き上げと発生源が分散しています。</p> <p>このうち①～④がクラッシャーで粉じん対策が必要と考えております。</p> <p>これまで多くの現場で局所集塵機/300m3/minをクラッシャーに架装して対策を行った事例はありますが、発生源すべてをカバーすることは困難で、吸引捕集方式を前提とすると、この課題は重要です。 当日のセミナーでも理想形を紹介していますが、クラッシャー設備全体を集塵ブースで囲い密閉化、ずり投入口から二次空気を吸引し集塵する方法があります。 この方法はクラッシャーを使用しているコンクリートリサイクル工場や廃棄物破砕機等で採用されている事例があります。(クラッシャー集塵ブースは弊社で装置開発中です。)</p>
		<p>【②AN-FO使用では吸引捕集方式のメリットが活かない】</p> <p>・吸引捕集方式では、発破粉塵は拡散する前に集塵捕集されるため(換気計算上)除外できるが、後ガスは除外されない。</p> <p>・以下の検討例では、後ガスに対する所要換気量が突出し、4,612m3/minもの所要換気量となる。</p> <p>掘削断面積 : 91.0m2</p> <p>一掘進長 : 2.5m</p> <p>火薬使用料 : 0.638kg/m3・・・含水</p> <p>: 0.903kg/m3・・・AN-FO</p> <p>粉塵濃度目標レベル : 2mg/m3</p> <p>所要換気時間 : 30分</p> <p>(一酸化炭素に対する換気量 : 1,836m3/min)</p> <p>窒素酸化物に対する換気量 : 2,306m3/min</p> <p>切羽後方の換気を考慮し2倍の換気量を見込み、2,306×2=4,612m3/min</p>	<p>(2) AN-FO発破後ガスの課題</p> <p>・硝酸アンモニウムによりNOxが大量に発生し、希釈風量が大きくなるため、吸引捕集方式の粉じん対策のための封じ込め風量より、ガス希釈風量が粉じん希釈風量を上回り、吸引捕集方式のメリットがないのご指摘はごもっともです。</p> <p>何が何でも吸引捕集方式を採用しなければならないのではなく、それぞれの施工の条件でベストな換気方式を選定すればよく、希釈封じ込め方式を否定しているわけではありません。 これまでも可燃性ガスが発生するトンネルでは、坑内風速を0.5m/sec保持しメタンレアーを防止するため、換気風量を大きく設定する必要から、送風機3000m3/min 集塵機4500m3/min を設備した実績も複数のトンネルであります。</p> <p>・本件ではガス希釈風量が2306m3/min ですので、吸引捕集方式も採用可能と考えます。 他現場ではΦ1700吸引伸縮風管で 3000m3/min の吸引捕集集塵機と組み合わせた設備を採用しているところもあります。 可燃性ガスの現場では換気風量を大きくしたため、路盤の巻き上げ粉じんが問題になったり冬場の換気では体感温度が低くなり工夫から苦情が相次いだ事例もありますので、やみくもに風量を大きくすることは課題もあります。</p> <p>・後ガスの処理ではAN-FO発破後ガス特有のNO2・アンモニアの発生が問題になります。 換気技術指針ではNO2の有害性(ACGIH: 0.2ppm以下)・アンモニア臭気(10ppm以下)は明確に表現しておりませんが、現場施工では大事な対策と考えます。 弊社では FP法(フィルタ/パウダ法)で有害ガスや臭気ガスを機能性粉体吸着により除去する方法を確立し、これまでも地下貯留大規模トンネル施工や長距離トンネルでの施工実績があります。 トンネル施工で実施したFP法では、ガス吸着材に天然ゼオライト粉体を使用し、コストを抑え効率のいい換気システムを構築できます。 この方法は面積を有するフィルタ方式の集塵機ならではの手法です。</p>
		<p>【③その他、吸引捕集方式のデメリット】</p> <p>・切羽に坑外からのフレッシュエアが直接行かず、希釈換気に比べ切羽作業環境が悪化</p> <p>・希釈換気に比べ、発破後の切羽作業環境の改善までの所要換気時間が長くなる</p> <p>・伸縮風管の盛替え手間がかかる</p> <p>・伸縮風管が天端への設置により、高所作業や装置落下等、安全上のリスクがある。</p>	<p>(3) 吸引捕集方式のデメリット</p> <p>・切羽に坑外からのフレッシュエアが切羽に直接行かず環境が悪化</p> <p>→吸引捕集の設計通りであれば、吸引口が切羽直近にあると、空気の流れは切羽方向に0.4m/secの速度で流れます、坑外からのフレッシュエアはこの流れで切羽に送風されますので切羽環境が悪化することはありません。 この時の風量関係は 坑外からの空気流量(一般的には坑内風速0.3m/secを保持する風量)と集塵機でリフレッシュされた風量(0.4-0.3=0.1m/secの坑内風速相当の風量)が加算されて流れます。</p> <p>坑内断面90m2の例で表現すると、 坑外からの風量1620m3/min と集塵機リフレッシュ風量540m3/min が合流し2160m3/min が切羽に流入することになります。</p> <p>この時重要なことは集塵機のリフレッシュエアが外気と同等でない切羽環境は悪化することです。 集塵機の出口清浄度を大気レベル0.05mg/m3に保つことが肝になります。</p> <p>電気集塵機の清浄度は性能表示されていませんが数mg/m3になっている場合が多く、吸引捕集方式に採用すると切羽の環境が悪くなる原因となっています。</p> <p>・発破後の切羽環境の改善に要する時間が長い</p> <p>→希釈拡散方式では切羽がきれいになる希釈時間は待機する必要がありますが、吸引捕集方式では発破直後に集塵機及び伸縮風管が稼働し吸引口が切羽に到達したらほぼ汚染空気全量の吸引が完了するので数分(5分以下)で切羽はきれいになります。 発破方式の事例では発破待機時間が短縮できるため生産性が高められたとの評価を頂いております。</p>

NO	技術講演名	質問	回答
2	(厚生労働省) ずい道等 建設工事における粉じん 対策に関するガイドライ ンの概要、および換気技 術の提案		<p>・伸縮風管の盛替え手間がかかる 一伸縮風管は切羽進行に合わせてレールを延伸する必要があります。 レールの移動は電動モーターにより移動できます、レールを吊り下げ・支持するサドル・レバブロックを切羽方向に盛替え操作が同時に必要です。 この作業は高所作業車でリモコン操作しながら行いますので簡単な操作です。</p> <p>また伸縮風管の延伸ではストックした伸縮代に余裕がなくなった時点で集塵機・電源台車の盛替えも必要です。(2週間おきが多いです) 伸縮代とは伸び切ったダクト長と縮んだ長さの関係で、弊社の場合は1/6です。(90m→15m) この伸縮代は盛替え頻度に関係しますので設備検討で注意が必要です。</p> <p>・伸縮風管の天端への設置により高所作業や装置落下など安全上のリスクがある。 一ご指摘の通りで、改善に取り組んでいるところです。 高所作業は盛替え時には必要ですが最小限のリスクにするため伸縮風管は天端を避け肩部へ設置することを推奨しています。 また落下については鋼製支保の場合は発生していませんが、吹付けコンクリート壁面にあと施工アンカーで吊り金具を施工する場合に発生しています。できる限りあと施工アンカーの使用を避けるとともにどうしても必要な場合は最低2本以上のケミカルアンカーを推奨しているところです。 また落下による事故軽減や、損傷を最小化するため、FRPコイルロッドなどを採用し、徹底的に軽量化しております。</p>
3	(厚生労働省) ずい道等 建設工事における粉じん 対策に関するガイドライ ンの概要、および換気技 術の提案	<p>NO.2についての追加の質問</p> <p>「本件ではガス希釈風量が2,306m³/minですので、吸引捕集方式も採用可能と考えます。」とのご見解がありますが、換気技術指針「金本」P106に以下の記述があります。</p> <p>「換気方式が送気式のみの場合は、切羽付近だけを対象にした所要換気量は、排気式の局所換気ファン有りの換気量と同じで良い。しかし、一般には切羽後方での作業が切羽作業と平行して行われるため切羽後方も考慮した換気を行う事となる。発生した有害ガスをt分間送気した換気量で一律に許容濃度まで希釈するとすれば、(中略)2～3倍となる。」</p> <p>本件のガス希釈風量が2,306m³/minに対し、切羽後方の換気を考慮し2倍の換気量を見込むと、2,306×2=4,612m³/minの換気量が必要となるのではないのでしょうか？</p>	<p><u>追加の質問を承りました。</u></p> <p>なるほど、「金本」に忠実に発生したNOxガスを式2.3.7で希釈するとすれば1/0.4=2.5倍となるので、本の記述は2～3倍の表現だろうと思います。 ここで知識共有のため、おさらいをしておきます。</p> <p>1.許容濃度とは 許容濃度は日本産業衛生学会及びACGIHが勧告する濃度です。 この濃度の定義は、労働者が1日8時間、週40時間程度で軽度の労働負荷において許容できる濃度、とあります。これをTWA値(加重平均濃度)といいます。</p> <p>2.NOxの許容濃度 NOxの許容濃度の規定はありません、NOxは窒素酸化物の総量で規定はありません。「金本」ではNOx 25ppmとしてNO2を包含した考え方になっています。 有害性があるガスは、NO2 一酸化窒素です。「金本」P41でNOx 25ppm(NO) (ACGIH)としています。NO2の許容濃度は「金本」P18の記載値で25ppmですが、現在は0.2ppm(ACGIH)と厳しくなっています。 即ち坑内で 3ppm を少し下回る濃度がずっと続き8時間働いていても健康障害はないとしています。 逆的に発破などの短時間の曝露であれば多少濃度がオーバーしても健康障害はないということです。 ちなみに今回のガイドラインでも粉じんの測定は算術平均濃度としていますので、切羽が2mg/m³を大幅に超えても問題ありません。</p> <p>3.AN-FOの後ガス AN-FO発破の後ガス中のNOx発生量は示されていますが、NO2ガスの発生定量値は残念ながら不明です。 一般的な燃焼ではNOx総量の5～10%ですが、NO2はアンモニアの過熱により発生することが分かっていますので、AN-FOの NO2ガス量は多いと考えられます。 この基準値は発破メーカーで確認してください。</p> <p>4.換気のロジック 換気では、自由空間場で有害ガスをクリーンガスで混合しながら膨張する"希釈" トンネルのように空間がチューブ状に限定されている場で有害ガスをクリーンガスで押しのける"置換"が換気モデルとして設定されます。 発破直後は瞬間的にガスが膨張し切羽の近傍エリアに拡散されますので、すでにこの時点で希釈が作用します。 そこで「金本」2.3.5や2.3.6のような拡散式が導かれたものと推察できます。 換気が始まると、切羽エリアではフレッシュエアの給気・混合によりエクスポネンシャルカーブ(指数関数的な曲線)で急激に濃度が減衰します。 この換気では、"希釈"と"置換"が同時に作用しますので、図2.3.3のように一定の濃度の希釈ガスの塊が坑口方向に押し出されることとなります。 本件では2.3.6で換気計算した風量は2603m³/minですので坑内風速は0.43m/sec となり坑外へ排出されます。当然ですが坑内では下部工・防水シート工・セントルなどがあり途中で混合され濃度は下がりますが、坑内には残留せずピストン効果により全量排出されます。 この時のNO2曝露リスクを推定すると、切羽以降のそれぞれの作業区域が50m程度としても、坑内風速から、高濃度であっても数分で通過しNO2ガスの曝露量は非常に少ないと言えます。 私の見解は、①風量を安全側に大きく設定することは構わない。②計算2.3.7は自由空間場での希釈の場合の計算を示したものである③実際は図2.3.3のような濃度分布となり通気速度が大きいいためNO2の曝露(濃度×時間)は非常に小さく計算2.3.6でも健康リスクはない。④これまでの含水爆薬でも送気方式で風量設計を2～3倍に設定している事例は少ないです。 ⑤大気基準は1日平均濃度0.04～0.06ppm ⑥金本P208 AN-FOの所要換気量計算例でも2倍にしています。 あくまで換気技術上の見解です、経済合理性や発注者及び設計との整合性及びアンモニア臭気対策をどうとるかなどの観点で結論を得ていただければと思います。 また、NO2ガスはACGIH勧告値 0.2ppm に改定されています(5年前に発がん性があることから1/10に強化) いずれ日本でもNO2の許容濃度が見直されると思われます。</p>
4	新東名トンネル建設にお ける清水建設の新技术	<p>清水建設様のセントルについて</p> <p>【質問1】 コンクリート高さセンサーについて 打設位置からすると、奥と手前の2円周方向と、天端の充填に意識すると天端部により多くのセンサーの配置が望ましいのではと想像します。 @500のピッチの理由と、セントルのセンターに1円周のみに配置されていた理由についてご教示願えないでしょうか。</p> <p>【質問2】 型枠バイブレータのみの使用と聞き及びましたが、その場合コンクリート仕上がり等についてご教示願えないでしょうか。</p>	<p>【質問1】 コンクリート高さセンサーについて 打設位置からすると、奥と手前の2円周方向と、天端の充填に意識すると天端部により多くのセンサーの配置が望ましいのではと想像します。 @500のピッチの理由と、セントルのセンターに1円周のみに配置されていた理由についてご教示願えないでしょうか。</p> <p>■回答 一回の打込み高さを@500にしているのは、一般的に1層の打込み高さを40～50cmを標準(例えば、文献①を参照)としているためです。また、左右の打込み高さに差が生じることによる偏圧を小さくすること、打込み時間を小さくすることなど鑑みて高さを決めております。 セントル中心に高さセンサーを配置しているのは、NEXCO標準の中流動コンクリートが打込み時から重力下である程度レベル(水平)になるため中心1箇所のみで管理をしております。</p> <p>【質問2】 型枠バイブレータのみの使用と聞き及びましたが、その場合コンクリート仕上がり等についてご教示願えないでしょうか。</p> <p>■回答 型枠バイブレータのみで締固めを行うことは、従来よりNEXCOははじめ多くの企業で実証試験がなされているように、品質に不具合はありません。弊社でもモデル施工を実施しておりますが、これまで品質上問題のある結果になったことはありません。 打設後の仕上がりについて、品質確認を目的とした各種試験を実施し、論文(文献②)としてまとめておりますのでご参照頂けますと幸甚に存じます。なお、美観という観点では、吹上げ方式を採用していることもあり、従来S.L.下に生じやすかった痘痕が少なくなったことを実感しております。</p> <p>文献① 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書 施工編, p.118.</p> <p>文献② 小池・久保・垣見・松永・遠藤・高杉・福田：中流動覆工コンクリートにおける自動締固めシステムの適用性, トンネル工学報告集, 第30巻, 1-38, 2020.11.</p>